

ILLUMINATOR AND PROJECTION ALIGNER

Patent Number: JP7235472
Publication date: 1995-09-05
Inventor(s): OSHINO TETSUYA
Applicant(s): NIKON CORP
Requested Patent: ☐ JP7235472
Application Number: JP19940025569 19940223
Priority Number(s):
IPC Classification: H01L21/027; G02B5/10; G03B27/54; G03F7/20; G21K1/06; G21K5/02
EC Classification:
Equivalents: JP3371512B2

Abstract

PURPOSE: To provide a high performance illuminator in which the intensity in an arcuate illuminating area is sustained substantially constant regardless of the illuminating position while improving the illumination efficiency significantly, and an aligner equipped with the illuminator.

CONSTITUTION: The illuminator comprises a light source 5 supplying a parallel luminous flux, reflective optical integrators 4a, 4b for forming a plurality of light source images from the parallel luminous flux supplied from the light source section 5, and a special reflector 3 for converting the luminous flux from the light source image or light source into a parallel luminous flux and illuminating the object arcuately. The special reflector 3 is constituted of a part of parabolic toric body of rotation obtained by rotating a parabola about a reference axis passing normally to the symmetry axis at a distance separated by a predetermined distance from the apex of parabola along the symmetric axis thereof. The reflective surface of the optical integrator 4b and/or the special reflector 3 is imparted with a desired X-ray reflectance distribution.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-235472

(43)公開日 平成7年(1995)9月5日

(51)Int.Cl.*	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 2 B 5/10	A			
G 0 3 B 27/54	Z			
		7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	5 3 1 A
		7352-4M		5 3 1 S
審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 10 頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号 特願平6-25569

(22)出願日 平成6年(1994)2月23日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 押野 哲也

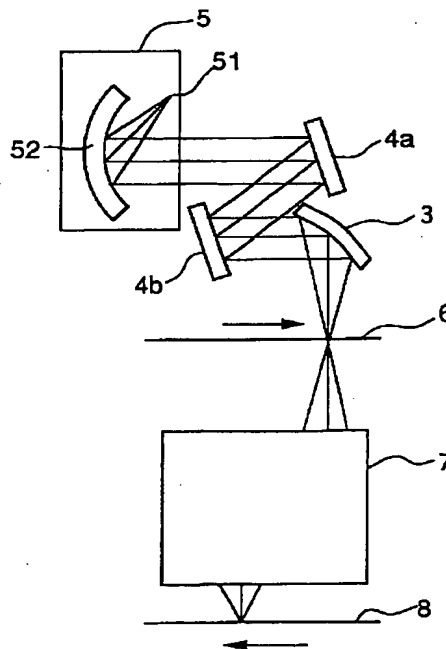
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(54)【発明の名称】 照明装置及び露光装置

(57)【要約】 (修正有)

【目的】 従来よりも格段に照明効率が高く円弧状に形成される照明領域での強度が照明位置によらず、ほぼ一様となる高性能な照明装置、及び該照明装置を備えた露光装置を提供する。

【構成】 平行光束を供給する光源部5と、該光源部5からの平行光束により複数の光源像を形成する反射型のオブティカルインテグレータ4a、4bとを有し、前記光源像または光源からの光束を平行光束に変換して前記被照明物体上を円弧状に照明する特殊反射鏡3を有し、放物線の頂点から該放物線の対称軸に沿って所定の距離だけ隔てた位置を該対称軸に対して垂直に通る基準軸を中心に回転させた放物トーリック形状の回転体の一部より構成されてなり、前記オブティカルインテグレータ4b及び／又は前記特殊反射鏡3の反射面に、所望のX線反射率分布を付与してなることを特徴とする照明装置。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも、所定の大きさの光源像または光源を形成する光源手段と、該光源手段からの光束を集光して被照明物体を照明する集光光学系とからなる照明装置に於いて、

前記光源手段は、平行光束を供給する光源部と、該光源部からの平行光束により複数の光源像を形成する反射型のオブティカルインテグレータとを有し、

前記集光光学系は、前記光源像または光源からの光束を平行光束に変換して前記被照明物体上を円弧状に照明する特殊反射鏡を有し、

該特殊反射鏡は、放物線の頂点から該放物線の対称軸に沿って所定の距離だけ隔てた位置を該対称軸に対して垂直に通る基準軸を中心に回転させた放物トーリック形状の回転体の一部より構成されてなり、

前記オブティカルインテグレータ及び／又は前記特殊反射鏡の反射面に、所望のX線反射率分布を付与してなることを特徴とする照明装置。

【請求項2】 前記オブティカルインテグレータの反射面から射出するX線の射出角を θ 、そのときの該反射面における反射率を $R_1(\theta)$ 、該反射面から射出角 θ で射出したX線が前記特殊反射鏡で反射されるとき反射率を $R_2(\theta)$ 、としたとき、

$R_1(\theta) \cdot R_2(\theta) / \cos \theta$ の値が一定又は略一定となるように、前記所望のX線反射率分布を付与してなることを特徴とする請求項1記載の照明装置。

【請求項3】 前記オブティカルインテグレータ及び／又は前記特殊反射鏡の反射面に、周期長の面内分布を有するX線反射多層膜を設けることにより、前記所望のX線反射率分布を付与してなることを特徴とする請求項1又は2記載の照明装置。

【請求項4】 前記オブティカルインテグレータ及び／又は前記特殊反射鏡の反射面に、周期数の面内分布を有するX線反射多層膜を設けることにより、前記所望のX線反射率分布を付与してなることを特徴とする請求項1又は2記載の照明装置。

【請求項5】 前記オブティカルインテグレータ及び／又は前記特殊反射鏡の反射面に、X線反射多層膜及び、その上の膜厚分布を有するX線吸収膜、を設けることにより、前記所望のX線反射率分布を付与してなることを特徴とする請求項1又は2記載の照明装置。

【請求項6】 前記X線反射多層膜が、モリブデン／ケイ素、モリブデン／ケイ素化合物、ルテニウム／ケイ素、ルテニウム／ケイ素化合物、ロジウム／ケイ素、又はロジウム／ケイ素化合物の各組み合わせのうち、いずれか一つの組み合わせで、交互に複数回積層したものでより形成されてなることを特徴とする請求項3～5記載の照明装置。

【請求項7】 前記X線吸収膜が、ケイ素、ベリリウム、ジルコニウム、ホウ素、炭素、又はモリブデンによ

り、或いは、これらを主成分とする物質により形成されてなることを特徴とする請求項5記載の照明装置。

【請求項8】 請求項1～7記載の照明装置を備えた露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、被照明物体を円弧状に照明する照明装置、及び該装置を備えた露光装置に関するものであり、特にX線光学系等のミラープロジェクション方式により、フォトマスク（マスクまたはレチクル）上の回路パターンを反射型の結像装置を介して、ウエハ等の基板上に転写する際に好適な装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、半導体製造における露光では、物体面としてのフォトマスク（以下、マスクと称する）面上に形成された回路パターンを結像装置を介して、ウエハ等の基板（以下、基板と称する）上に投影転写する。露光光がX線等の場合、その結像装置は反射鏡で構成され、結像光学系の軸外にある円弧状の良像領域のみが利用されて、マスク上の円弧領域のみがウエハ上に投影転写される。さらに、マスク全体の回路パターンのウエハ上への転写は、マスクとウエハとを一定方向に走査することにより行われている。

【0003】この走査方式による露光は、比較的高いスループットで、しかも高解像力が得られるという利点がある。この種の露光においては、マスク上の円弧領域全体を均一で、しかも一定の開口数（NA）で照明できる照明光学系が望まれており、本願と同一出願人による特願平4-242486（本願出願時、未公開）には、マスクを円弧状に均一照明できる照明光学系が提案されている。

【0004】この特願平4-242486にて提案されている光学系を、図5及び図6に示す。放物線をPAとし、この放物線PAの頂点Oを原点、この頂点Oを通る放物線PAの対称軸AxをY軸、この対称軸Ax（以下、Y軸と称する。）と直交して頂点Oを通る軸をX軸として示している。図5に示す様に、特殊反射鏡3のメリジオナル方向での断面は、放物線PAの一部をなしており、この特殊反射鏡3は、頂点Oから対称軸Yに沿って所定の距離だけ隔てた位置Yを通る基準軸Ax₁（対称軸Yに垂直な軸）を中心に回転させた放物トーリック形状の回転体の一部より構成されている。即ち、図6に示す様に、特殊反射鏡3は、その放物トーリック形状の回転体の二つの緯線31、32で挟まれる帯状領域の一部で構成され、円弧状の形状をなしている。

【0005】メリジオナル方向での光束に関する特殊反射鏡3の機能を図5を参照して説明する。尚、メリジオナル方向での光束とは、特殊反射鏡3の基準軸Ax₁を含む平面（メリジオナル平面）内の光束を意味し、サジ

タル方向での光束とは、メリジオナル平面と直交する平面（サジタル平面）内の光束を意味する。今、不図示の光学系により所定の大きさの光源像（又は光源）1を基準軸 Ax_1 上の所定の位置に形成すると、この光源像（又は光源）1上の任意の一点からの光束は、特殊反射鏡3の集光作用によって平行光束に変換される。

【0006】例えば、光源像（又は光源）1の中心aからの光束は、特殊反射鏡3により平行光束に変換されて被照明面の領域BA。上を垂直に照明し、光源像（又は光源）1の下方bからの光束は、特殊反射鏡3により平行光束に変換されて被照射面の領域BA。上を右斜め方向から照明する。そして、光源像（又は光源）1の上方cからの光束は、特殊反射鏡3により平行光束に変換されて被照射面の領域BA。上を左斜め方向から照明する。

【0007】この様に、光源像（又は光源）1の各位置からの光束は、特殊反射鏡3により平行光束に変換されて被照射面の領域BA。上を重疊的に均一照明する。また、この時の特殊反射鏡3によるメリジオナル方向での開口数を見ると、光軸 Ax_2 に平行な光源像（又は光源）1からの平行光束（実線で示す光束）は特殊反射鏡3により開口数 NA_m （ $= \sin \theta_m$ ）のもとで被照射面の領域BA。上の中心に集光され、光軸 Ax_2 に対して発散角 ε_1 を持つ光源像（又は光源）1からの平行光束（点線で示す光束）は、特殊反射鏡3により開口数 NA_m のもとで被照射面の領域BA。上の左端で集光される。そして、発散角 ε_1 とは反対方向で発散角 ε_1 と等しい角度の発散角 ε_2 （ $= \varepsilon_1$ ）を持つ光源像（又は光源）1からの平行光束（点線で示す光束）は、特殊反射鏡3により開口数 NA_m のもとで被照射面の領域BA。上の右端で集光される。なお、光軸 Ax_2 は特殊反射鏡3により90度折り曲げられる。

【0008】従って、光源像（又は光源）1からの任意の発散角を持つ平行光束は、被照射面の領域BA。上のメリジオナル方向のどの位置からでも一定の開口数 NA_m のもとで集光され、しかも光源像（又は光源）1からの平行光束の主光線（ P_1 、 P_2 、 P_3 ）は、光軸 Ax_2 に対して常に平行で、テレセントリック性が維持されていることがわかる。

【0009】次に、図6を参照して、サジタル方向での特殊反射鏡3の機能を説明する。基準軸 Ax_1 上に形成される光源像（又は光源）1からの平行光束21は、特殊反射鏡3により被照射面の領域BA。上で集光され、平行光束21よりも角度 ϕ だけ傾いた発散角を持って出射する光源像（又は光源）1からの平行光束22は、特殊反射鏡3により被照明面の領域BA。上で集光される。

【0010】ここで、被照明面の領域BA。を形成する光源像（又は光源）1からの光束のうちのサジタル方向の光束についてみる。図5の場合と同様に、光源像（又は光源）1からの任意の発散角を持つ平行光束は、被照

明面の領域BA。上のメリジオナル方向でのどの位置でも一定の開口数 NA_m のもとで集光され、しかも光源像（又は光源）1からの平行光束の主光線は、光軸 Ax_2 に対して常に平行になり、テレセントリック性が維持される。

【0011】従って、基準軸 Ax_1 上に形成される光源像（又は光源）1から平行光束が、特殊反射鏡3の円弧方向（放物トローリク形状の回転体の緯線31、32方向）へ放射状に出射しても、テレセントリック性が維持された状態で円弧状の照明領域BFが形成される。また、円弧状の照明領域BFは被照射面に相当し、この被照射面に対して光源像又は光源が無限遠位置に存在する。ここで、被照射面の下方には、入射側にテレセントリックな投影光学系が設けられており、この投影光学系の入射瞳位置に光源像が形成される。従って、被照射面は所謂ケーラー照明されることが理解できる。

【0012】前記照明装置において、基準軸 Ax_1 上に形成される光源像（又は光源）1は例えば、オブティカルインテグレータによって作り出される。一方、X線等の短波長の光の領域で光学系を構成するためには、光学系のすべての部材を反射型部材としなければならない。従って、前記短波長領域で用いるオブティカルインテグレータも反射型でなければならない。

【0013】さらに具体的に説明すると、光源像（又は光源）1から発散するX線のメリジオナル方向の発散角は、照明領域の幅及び、光源像（又は光源）1と特殊反射鏡3との距離で決まる。この場合、照明領域の幅は、前記距離を半径とする円弧（前記発散角の円弧）の長さとして近似できる。従って、例えば、照明領域の幅を2mm、前記距離（半径）を120mmとすると、発散角は約1°となる。

【0014】一方、光源像（又は光源）1のサジタル方向の発散角は、より小さな半径の円で、より大きな円弧の長さを得ようとする（実際、この方が結像光学系の反射鏡を小さくすることができるので好ましい）、メリジオナル方向での発散角よりもずっと大きくすることになる。この場合、反射型オブティカルインテグレータは、サジタル方向とメリジオナル方向とで発散角が大きく異なる。例えば、図7に示すようなシリンドリカルミラーを複数個並べた反射鏡を二個以上用いて、図8に示すように、それぞれを直交させた状態に配置すれば、サジタル方向とメリジオナル方向とで発散角を大きく相違させることができる。

【0015】つまり、インテグレータ4aはメリジオナル方向に、インテグレータ4bはサジタル方向に、各々X線を集光して、さらにその焦点位置を光源像（又は光源）1上となるように構成すると、メリジオナル方向とサジタル方向とで異なった発散角を有する光源像（又は光源）1が形成される。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】ところで、図9に示す様に、オブティカルインテグレータにより形成される光源像（又は光源）1から射出（出射）するX線2に於いて、サジタル方向（紙面方向）での平行光束についてみると、射出角が0度の時の平行光束21の径を $P(0) = q$ とすると、射出角が θ の時の平行光束23の径は $P(\theta) = q \cos \theta$ となり射出角 θ が大きくなるに従い、紙面方向の光束径 $P(\theta)$ が小さくなる。

【0017】従って、射出角が0度の時の平行光束21の断面は、図10(a)に示す様にほぼ円形状となるのに対して、射出角が θ の時の平行光束23の断面は、図10(b)に示す様に、メリジオナル方向では $P(0)$ の長径を有し、サジタル方向では $P(\theta)$ の短径を有する楕円形状となる。この結果、射出角が0度の平行光束21が特殊反射鏡3により集光作用を受けたときの集光光束の集光状態は、被照射面上に形成される円弧照明領域BF内の集光点 p_1 に対して、常に等しい角度 θ を張りながら円錐状に集光されるのに対し、射出角が θ の平行光束23が特殊反射鏡3により集光作用を受けたときの集光光束の集光状態は、楕円錐状に集光されて、被照射面上の円弧照明領域BF内に集光点 p_2 が形成される（図11参照）。

【0018】このため、集光点 p_2 の半径方向Rでは、集光点 p_1 に対する集光光束の張る角度は、上記平行光束21の集光光束と等しくなるが、集光点 p_2 の接線方向Tでは集光点 p_1 に対する集光光束の張る角度は、集光点 p_2 の半径方向Rの場合よりも小さくなる（ $\cos \theta$ 倍となる）という問題点がある。また、この問題点は、サジタル方向に対して射出角 θ が大きい平行光束について顕著となる。

【0019】このような、断面形状の異なる平行光束を集光する照明装置で被照明物体を照明し、さらにその像を結像装置で結像させると、一般にその解像度は像面内で不均一になる。これは、被照明物体の一部が、結像光学系の要求する開口数を満たさない条件で照明されるために生じる。つまり、円弧上の照明領域のうち、射出角度が0度の平行光束で照明される部分の照明光の開口数を結像装置の開口数に略等しくしてやると、円弧上の照明領域のうち、射出角度が大きい平行光束で照明される部分の照明光の開口数は、結像装置の開口数より小さくなる。従って、この部分では解像度の低い像しか得られなくなる。

【0020】このような問題を避けるためには、円弧上の照明領域のうち、射出角度が最も大きい平行光束で照明される部分の照明光の開口数を結像装置の開口数に略等しくしてやれば良い。この場合、射出角度が比較的小さい平行光束で照明される部分は、結像装置の開口数よりも大きな開口数で照明されるが、このような余分な照明光は結像装置にスリット等を設けることにより除去することができる。従ってこのような照明装置で被照明物

体を照明することにより、均一な解像度の像が得られる。

【0021】ところで、前記の様な照明装置で被照明物体を照明すると、射出角 θ の平行光束26（光束径 $p(\theta)$ ）のうち結像に寄与する光束23の径は、図12に示す様に、 $p_1(\theta)$ （ $p(\phi)$ に等しい）となり、平行光束26の光束径 $p(\theta)$ よりも小さくなる。つまり、光束径 $p_1(\theta)$ よりも外側のX線は結像装置で除去されてしまう。

【0022】オブティカルインテグレータの反射率が均一な場合、光束径 $p(\theta)$ の各平行光束のX線強度が等しいため、実質的な照明光の光束である光束径 $p_1(\theta)$ の各平行光束のX線強度は、 θ により異なることになる。つまり、被照明面は実質的に均一な強度で照明されず、照明ムラが生じてしまうことになる。そこで、本発明は前記の問題を解決し、従来よりも格段に照明効率が高く円弧状に形成される照明領域での強度が照明位置によらず、ほぼ一様となる高性能な照明装置、及び該照明装置を備えた露光装置を提供することを目的としている。

【0023】

【課題を解決するための手段】そのため、本発明は第一に「少なくとも、所定の大きさの光源像または光源を形成する光源手段と、該光源手段からの光束を集光して被照明物体を照明する集光光学系とからなる照明装置に於いて、前記光源手段は、平行光束を供給する光源部と、該光源部からの平行光束により複数の光源像を形成する反射型のオブティカルインテグレータとを有し、前記集光光学系は、前記光源像または光源からの光束を平行光束に変換して前記被照明物体上を円弧状に照明する特殊反射鏡を有し、該特殊反射鏡は、放物線の頂点から該放物線の対称軸に沿って所定の距離だけ隔てた位置を該対称軸に対して垂直に通る基準軸を中心に回転させた放物トローリック形状の回転体の一部より構成されてなり、前記オブティカルインテグレータ及び／又は前記特殊反射鏡の反射面に、所望のX線反射率分布を付与してなることを特徴とする照明装置（請求項1）」を提供する。

【0024】また、本発明は第二に「前記オブティカルインテグレータの反射面から射出するX線の射出角を θ 、そのときの該反射面における反射率を $R_1(\theta)$ 、該反射面から射出角 θ で射出したX線が前記特殊反射鏡で反射されるとききの反射率を $R_2(\theta)$ 、としたとき、 $R_1(\theta) \cdot R_2(\theta) / \cos \theta$ の値が一定又は略一定となるように、前記所望のX線反射率分布を付与してなることを特徴とする請求項1記載の照明装置（請求項2）」を提供する。

【0025】また、本発明は第三に「前記オブティカルインテグレータ及び／又は前記特殊反射鏡の反射面に、周期長の面内分布を有するX線反射多層膜を設けることにより、前記所望のX線反射率分布を付与してなること

を特徴とする請求項1又は2記載の照明装置（請求項3）」を提供する。また、本発明は第四に「前記オブティカルインテグレート及び／又は前記特殊反射鏡の反射面に、周期数の面内分布を有するX線反射多層膜を設けることにより、前記所望のX線反射率分布を付与してなることを特徴とする請求項1又は2記載の照明装置（請求項4）」を提供する。

【0026】また、本発明は第五に「前記オブティカルインテグレート及び／又は前記特殊反射鏡の反射面に、X線反射多層膜及び、その上の膜厚分布を有するX線吸収膜、を設けることにより、前記所望のX線反射率分布を付与してなることを特徴とする請求項1又は2記載の照明装置（請求項5）」を提供する。また、本発明は第六に「前記X線反射多層膜が、モリブデン／ケイ素、モリブデン／ケイ素化合物、ルテニウム／ケイ素、ルテニウム／ケイ素化合物、ロジウム／ケイ素、又はロジウム／ケイ素化合物の各組み合わせのうち、いずれか一つの組み合わせで、交互に複数回積層したものにより形成されてなることを特徴とする請求項3～5記載の照明装置（請求項6）」を提供する。

【0027】また、本発明は第七に「前記X線吸収膜が、ケイ素、ベリリウム、ジルコニウム、ホウ素、炭素、又はモリブデンにより、或いは、これらを主成分とする物質により形成されてなることを特徴とする請求項5記載の照明装置（請求項7）」を提供する。また、本発明は第八に「請求項1～7記載の照明装置を備えた露光装置（請求項8）」を提供する。

【0028】

【作用】図1は本発明にかかる照明装置の光学系（一例）であり、光源像（又は光源）1と、特殊反射鏡3からなる集光光学系、及び円弧状の照射領域BFの斜視図である。図5に示す様に、特殊反射鏡3のメリジオナル方向での断面は、放物線PAの一部をなしており、この特殊反射鏡3は、頂点Oから対称軸Yに沿って所定の距離だけ隔てた位置Y。を通る基準軸AX₁（対称軸Yに垂直な軸）を中心に回転させた放物トーリック形状の回転体の一部より構成されている。即ち、図6に示す様に、特殊反射鏡3は、その放物トーリック形状の回転体の二つの緯線31、32で挟まれる帯状領域の一部で構成され、円弧状の形状をなしている。

【0029】光源像（又は光源）1から射出（出射）し*

$$\begin{aligned} I_2(\theta) &= I_1(\theta) \cdot R_2(\theta) \\ &= I(0) \cdot R_1(\theta) \cdot R_2(\theta) \cdot \cos \phi / \{R_1(0) \cdot \cos \theta\} \\ &\dots (3) \end{aligned}$$

従って、被照明面に入射する光束の強度 $I_2(\theta)$ を均一（又は略均一）にするためには、 $R_1(\theta) \cdot R_2(\theta) / \cos \theta$ の値が射出角 θ に対して一定（又は略一定）の値をとるような組み合わせを選択すれば良い。

【0034】また、前記条件で照明したにもかかわらず照明ムラが生じる場合（例えば、照明光学系の収差等に

*て結像に寄与する平行光束21a、22a、23aは、特殊反射鏡3で反射されて集光光束21b、22b、23bとなり、円弧状照射領域BF上の点 p_1 、 p_2 、 p に集光される。この時、結像に寄与する平行光束21a、22a、23aは光束径が等しく、さらに結像に寄与する集光光束21b、22b、23bはそのX線強度が等しくなっている。

【0030】即ち、本発明にかかる照明装置では、例えば、集光光束21b、22b、23bにおけるX線強度が等しくなるように、オブティカルインテグレート及び／又は前記特殊反射鏡の反射面に、所望のX線反射率分布を付与してある。即ち、本発明にかかる照明装置は、所望のX線反射率分布を有するオブティカルインテグレート及び／又は特殊反射鏡を用いることにより、照明領域を照明位置によらず充分な開口数で照明し、さらに均一な強度で照明することができる。即ち、ケーラー照明でテレセントリック性を維持しながら、被照射面を円弧状に均一な強度で照明することができる。

【0031】所望のX線反射率分布は、例えば、 $R_1(\theta) \cdot R_2(\theta) / \cos \theta$ の値が一定又は略一定となるように設定することにより、付与することができる。集光光束21b、22b、23bのX線強度は、例えば、図2に示す様に（本図では説明を容易にするため、オブティカルインテグレート4を拡大し、その一部を示している）、オブティカルインテグレート4を構成する曲面反射鏡41が射出角 θ で射出するX線2の該曲面反射鏡41における反射率 $R_1(\theta)$ と、該曲面反射鏡41が射出角 θ で射出するX線2が特殊反射鏡3で反射されるとき反射率 $R_2(\theta)$ によって決まる。

【0032】反射率 $R_1(\theta)$ 、 $R_2(\theta)$ を設定するための基本的な方法について、以下に説明する。光源像（又は光源）1から射出される平行光束26の各射出角における強度 $I(\theta)$ は、射出角0度に於ける平行光束24の強度を $I(0)$ とすると（1）式で表される。

$$I(\theta) = I(0) \cdot R_1(\theta) / R_1(0) \dots (1)$$

$I(\theta)$ は、光束26の強度であり、実質的な光束23aの強度 $I_1(\theta)$ は（2）式となる。

【0033】

$$I_1(\theta) = I(\theta) \cdot \cos \phi / \cos \theta \dots (2)$$

一方、被照明面に入射する光束23bの強度 $I_2(\theta)$ は（3）式となる。

より照明ムラが生じる場合）でも、照明強度 $I_2(\theta)$ が均一（又は略均一）になるように、（3）式に基づいて補正してやれば良い。このように、本発明にかかる照明装置は、射出角 θ に依存する実質的な光束径の変化以外の原因により生じる照明ムラ（原因が不明な照明ムラを含む）も解消して、均一（又は略均一）に照明すること

が可能である。

【0035】さらに、光学素子作製上の制限のため、 $R_1(\theta)$ 又は $R_2(\theta)$ の一方の分布が決められてしまう場合でも、もう一方の調整を行うことにより、補正することができる。即ち、オブティカルインテグレータと特殊反射鏡のうちの一方だけによる調整でも、補正が可能である。前記オブティカルインテグレータ及び／又は前記特殊反射鏡の反射面への所望のX線反射率分布の付与は、反射面に周期長の面内分布を有するX線反射多層膜を設けることにより行うことができる。つまり、前記多層膜の周期長によりX線反射率が変化するので、反射面内で周期長に分布を持たせることにより、反射率に所望の分布を持たせることができる。

【0038】また、同様のX線反射率分布の付与は、反射面に周期長の面内分布を有するX線反射多層膜を設けることにより行うことができる。つまり、前記多層膜の周期長によりX線反射率が変化するので、反射面内で周期長に分布を持たせることにより、反射率に所望の分布を持たせることができる。さらに、同様のX線反射率分布の付与は、反射面にX線反射多層膜及び、その上の膜厚分布を有するX線吸収膜、を設けることにより行うことができる。

【0037】なお、前記X線反射用多層膜は、使用するX線に対して反射率が高くなるように、モリブデン／ケイ素、モリブデン／ケイ素化合物、ルテニウム／ケイ素、ルテニウム／ケイ素化合物、ロジウム／ケイ素、ロジウム／ケイ素化合物の各組み合わせのうち、いずれか一つの組み合わせで、交互に複数回積層したものにより形成することが好ましい（特に、波長13nmのX線使用の場合に好ましい）。

【0038】また、前記X線吸収膜は、使用するX線を吸収する物質であればよいが、膜厚を変化させることで、X線透過率を容易に制御できる物質により形成することが好ましい。例えば、比較的X線吸収率が小さいケイ素、ベリリウム、ジルコニウム、ホウ素、炭素、又はモリブデンにより、或いは、これらを主成分とする物質によりX線吸収膜を形成することが好ましい（特に、波長13nmのX線使用の場合に好ましい）。

【0039】X線吸収膜を、これらの物質で形成すると、所望の透過率分布を得るための（最終的には、所望の反射率分布を得るための）膜厚制御が容易となる。なお、X線反射用多層膜に好適な前記材料も、膜厚を変化させることで、X線透過率を容易に制御できるので、これらによりX線吸収膜を形成してもよい。オブティカルインテグレータを構成する反射曲面は、シリンドリカルミラーの他にフライアイミラーによっても形成できる。

【0040】以上の様に、本発明の照明装置によれば、ケーラー照明でテレセントリック性を維持しながら、被照射面を円弧状に均一な強度で照明することができる。そのため、本発明の照明装置を備えた露光装置では、被

照射面である円弧上の全面において均一な露光量で像が得られ、その結果高いスループットで、被照射面にあるマスクのパターンを正確に基板上に転写することができる。

【0041】以下、本発明を実施例により具体的に説明するが、本発明はこの例に限定されるものではない。

【0042】

【実施例】図3は本実施例の照明装置と、該装置を備えた露光装置（一例）の構成及び配置を示す説明図である。本実施例の照明装置は、光源部5及び反射型オブティカルインテグレータ4a、4bを有する光学手段と、放物トーリック形状の回転体の一部より構成される特殊反射鏡である放物トーリック面ミラー（集光光学系の一例）3と、により構成されている。

【0043】図5に示す様に、特殊反射鏡3のメリジオナル方向での断面は、放物線PAの一部をなしており、この特殊反射鏡3は、頂点Oから対称軸Yに沿って所定の距離だけ隔てた位置Y。を通る基準軸AX₁（対称軸Yに垂直な軸）を中心に回転させた放物トーリック形状の回転体の一部より構成されている。即ち、図6に示す様に、特殊反射鏡3は、その放物トーリック形状の回転体の二つの緯線31、32で挟まれる帯状領域の一部で構成され、円弧状の形状をなしている。

【0044】光源部5は、レーザープラズマX線源51と放物面ミラー52で構成した。レーザープラズマX線源51は、光源サイズが100μm程度の点光源で、ここからX線がほぼ等方的に発散する。この発散光を放物面ミラー52で反射させることにより、レーザープラズマX線源51から発散するX線を所望の断面形状の平行光束に変換できる。これにより、高強度の平行光束又は平行に近い光束が供給される。この光束は反射型オブティカルインテグレータ4aに入射する。

【0045】尚、平行光束を供給する手段は、前記の様な、光源に放物面ミラー等の曲面鏡を組み合わせたものに限らない。例えば、シンクロトン放射光源の様な平行光に近い光を放出する光源の場合には、光源から直接、反射型オブティカルインテグレータ4aに入射させても良い。レーザープラズマX線源の場合でも、レーザープラズマX線源とインテグレータ4aとを十分離して配置することにより、放物面ミラーを用いずに直接、光源からオブティカルインテグレータ4aに平行光に近い光を入射させることができるが、本実施例の様な配置にした方が光の空間的利用効率が格段に高くなるので好ましい。

【0046】この様に、光源部5は、平行光束又は平行に近い光束を供給し、この光束は反射型オブティカルインテグレータ4aに入射し、更にその反射光は反射型オブティカルインテグレータ4bに入射する。反射型オブティカルインテグレータ4aは、図7(a)に示す様な複数の凹面を有するシリンドリカルミラーの集合体から

なり、入射する平行光束をメリジオナル方向に集光する。また、反射型オブティカルインテグレート4bは、図7(b)に示す様に複数の凸面を有するシリンドリカルミラーの集合体からなり、入射する平行光束をサジタル方向に集光する。

【0047】本実施例の反射型オブティカルインテグレート4bの発散角 2ϕ は 60° とした。本実施例ではX線の波長を 13nm とし、反射型オブティカルインテグレート及び特殊反射鏡の反射面には、反射率向上のためのX線反射多層膜(モリブデンとケイ素を交互に複数回積層した層)をコーティングした。特に、反射型オブティカルインテグレート4bを構成する反射鏡には、多層膜の周期長が射出角 θ に対して変化する様な分布を持たせた。つまり、射出角が大きい部分ほど周期長が大きくなるようにし、周期長は $6.7\sim 6.95\text{nm}$ の間で変化させた。

【0048】この反射型オブティカルインテグレートの反射率分布 $R_1(\theta)$ は図4のようになる。反射型オブティカルインテグレート4a、4bにより形成された光源像(又は光源)からの光束は、特殊反射鏡3により反射集光された。これにより、被照明面(マスク6の表面)は円弧状にケラー照明され、しかも被照射面は均一な開口数で照明された。即ち、ケラー照明でテレセントリック性を維持しながら、被照射面は円弧状に均一な強度で照明された。

【0049】特殊反射鏡3の表面にはX線反射多層膜(モリブデンとケイ素を交互に複数回積層した層)を設け、そのサジタル方向の反射率分布 $R_2(\theta)$ は図4に示すような分布とした。この反射率分布は、サジタル方向に多層膜の周期数分布をつくることで得ることができた。つまり、射出角が大きいX線が反射する部分ほど周期数が小さくなるようにした。具体的には、周期数は $11\sim 20$ 周期の間で変化させた。

【0050】本実施例に於ける、 $R_1(\theta) \cdot R_2(\theta) / \cos \theta$ の分布を図4に示す。 $R_1(\theta) \cdot R_2(\theta) / \cos \theta$ は、 θ の値にかかわらず一定の値を示している。従って、本実施例の照明装置は均一な強度で被照明面(マスク6の表面)を照明することができる。マスク6を透過したX線は結像装置7を経て、基板8上に照射された。このとき、マスク6のパターンが基板8上に転写された。本実施例では、基板にシリコンウエハを用い、その表面に塗布したレジストをX線で露光した。この状態で、マスク6と基板8とを、図3に示す矢印の方向に走査することによって、マスク全面のパターンを基板上に転写した。

【0051】以上の結果、基板上に最小パターンサイズ $0.1\mu\text{m}$ のパターンを大面積(約 10cm^2)にわたって得ることができた。従来の照明装置を備えた露光装置では、照明光の強度が不均一であったため、レジストの一部が過剰露光又は過小露光されて、前記の様な微細パ

ターンを大面積で得る事は極めて困難であった。このような微小パターンが大面積で得られたことは、本発明の照明装置が露光装置の照明装置として十分な性能を持っていることを示している。さらに、大面積が露光できるので、露光装置のスループットも大幅に向上する。

【0052】本実施例では、マスクとして透過型のマスクを用いたが、反射型のマスクを用いても同様の効果が得られた。また本実施例では、反射型オブティカルインテグレートを構成する反射曲面をシリンドリカルミラーとしたが、フライアイミラーとしてもよい。また、本実施例では反射型オブティカルインテグレートを2個使用した場合を取りあげたが、本発明はこれに限らない。つまり、反射型オブティカルインテグレート及び/又は特殊反射鏡の反射率分布で照明光の強度を制御する照明装置は、本発明の範囲内である。

【0053】

【発明の効果】以上の様に、本発明の照明装置によれば、ケラー照明でテレセントリック性を維持しながら、被照射面を円弧状に均一な強度で照明することができる。そのため、本発明の照明装置を備えた露光装置では、被照射面である円弧上の全面において均一な露光量で像が得られ、その結果高いスループットで、被照射面にあるマスクのパターンを正確に基板上に転写することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】は本発明にかかる照明装置の光学系(一例)であり、光源像(又は光源)1と、特殊反射鏡(集光光学系の一例)3、及び円弧状の照射領域BFの斜視図である。

【図2】は本発明にかかる照明装置の光学系(一例)であり、反射型オブティカルインテグレート4と特殊反射鏡3のサジタル方向での断面図である。

【図3】は実施例の照明装置を備えた露光装置(一例)の構成及び配置を示す説明図である。

【図4】は本発明にかかる照明装置におけるX線強度分布を示すデータ図である。

【図5】は本発明にかかる照明装置の光学系(一例)であり、光源像(又は光源)1と、特殊反射鏡3、及び被照射面の領域BA。のメリジオナル方向の断面図である。

【図6】本発明にかかる照明装置の光学系(一例)であり、光源像(又は光源)1と、特殊反射鏡3、及び円弧状の被照射領域BFの斜視図である。

【図7】は反射型オブティカルインテグレートの例を示す斜視図である。

【図8】は従来の照明装置のメリジオナル方向での断面図である。

【図9】は従来の照明装置の光学系(一例)であり、光源像(又は光源)1と、反射鏡3のサジタル方向での断面図である。

【図10】は従来の照明装置に於ける平行光束の断面を示す図であり、(a)は光源像(又は光源)1から0度の射出角で射出する平行光束の断面図であり、(b)は光源像(又は光源)1から θ の射出角で射出する平行光束の断面図である。

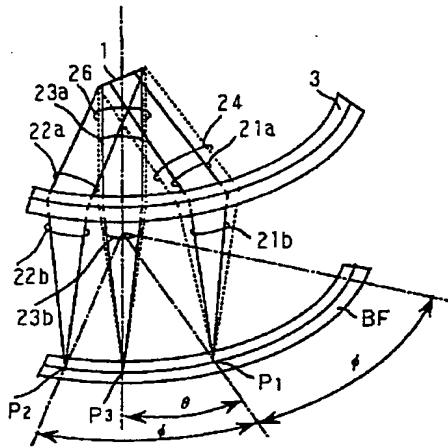
【図11】は従来の照明装置に於いて、被照明面上に集光される光束の様子を示す説明図である。

【図12】は従来の照明装置の光学系(一例)であり、光源像(又は光源)1と、反射鏡3のサジタル方向での断面図である。

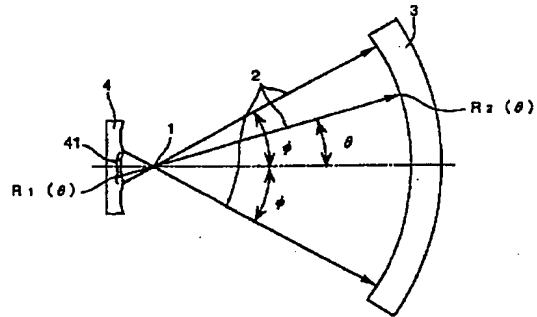
【主要部分の符号の説明】

- * 1・・・光源像(又は光源)
 2・・・X線
 3・・・特殊反射鏡(本発明にかかる集光光学系の一例)
 4・・・反射型オプティカルインテグレータ
 5・・・光源部
 6・・・マスク
 7・・・結像装置
 8・・・基板
 10 BF・・・円弧状の被照射領域
 * 以上

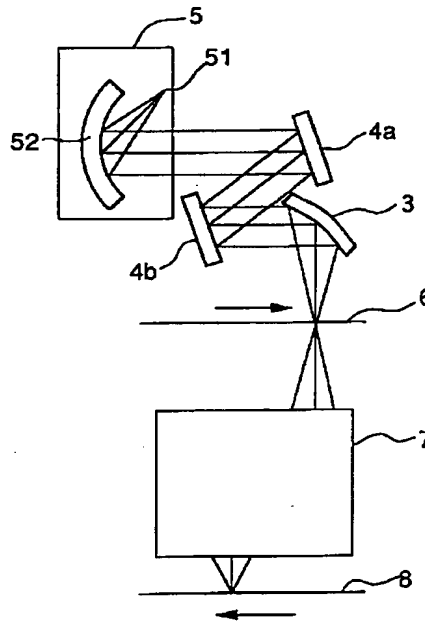
【図1】



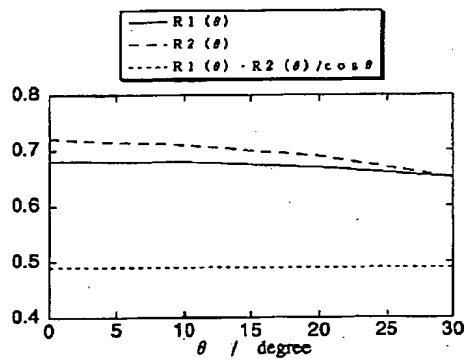
【図2】



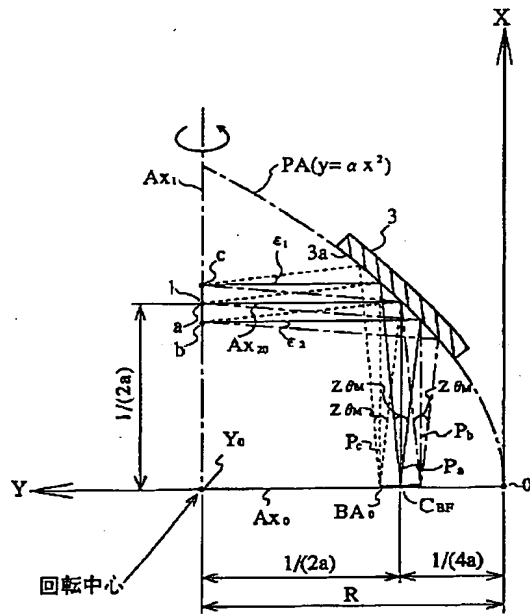
【図3】



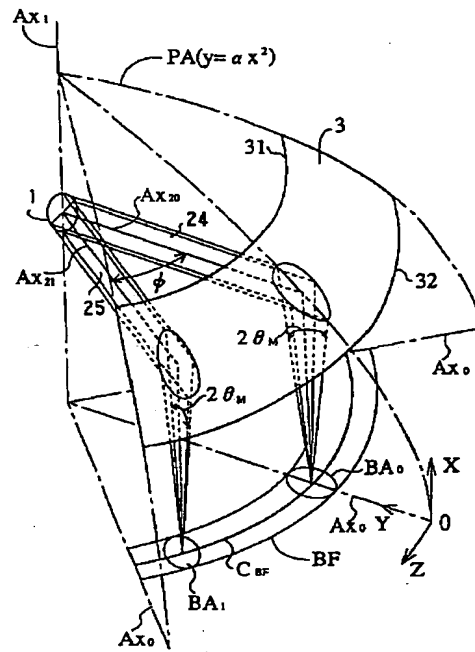
【図4】



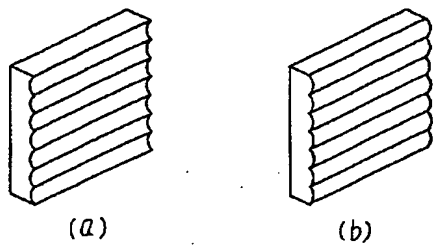
【図5】



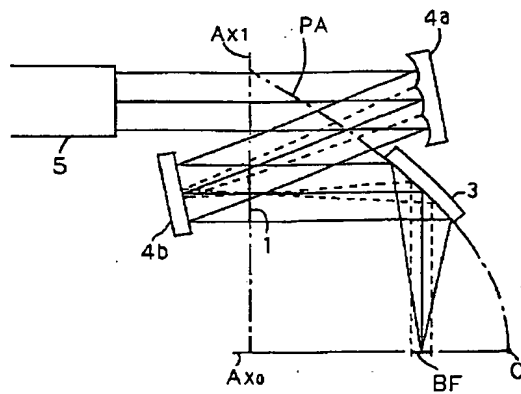
【図6】



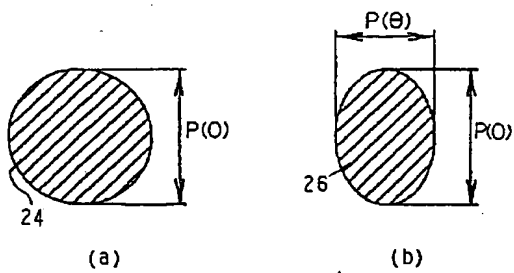
【図7】



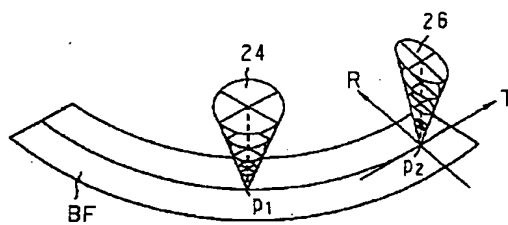
【図8】



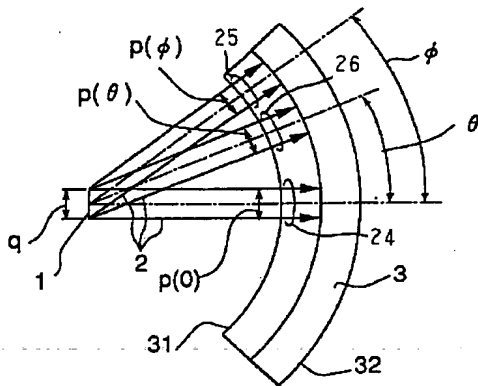
【図10】



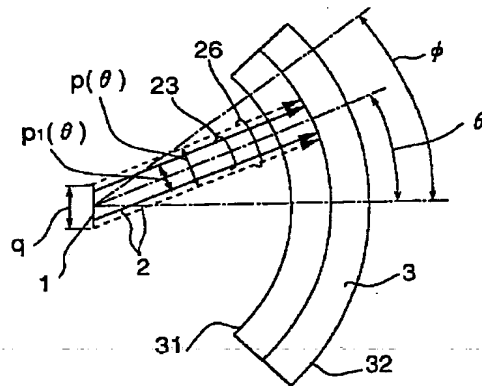
【図11】



【図9】



【図12】



【手続補正書】

【提出日】平成6年12月8日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】変更

【補正内容】

*【0013】さらに具体的に説明すると、光源像（又は光源）1から発散するX線のメリジナル方向の発散角は、照明領域の幅及び、光源像（又は光源）1と特殊反射鏡3との距離で決まる。例えば、照明領域の幅を2 m m、前記距離を120 m mとすると、発散角は約1°となる。

*

フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁵

G 0 3 F 7/20

識別記号

5 0 3

5 2 1

庁内整理番号

M

X

F I

技術表示箇所

G 2 1 K 1/06

5/02